

Parametry mechaniczne i geometryczne kości kończyn kaczek krzyżówek i łysiek

SYLWESTER KOWALIK, AGNIESZKA DROBEK-GIŁOWSKA, MARCIN TATARA,
BARBARA SAWA-WOJTANOWICZ, GRAŻYNA WAŁKUSKA*

Katedra Fizjologii Zwierząt, *Katedra Toksykologii i Ochrony Środowiska Wydziału Medycyny Weterynaryjnej AR,
ul. Akademicka 12, 20-033 Lublin

Kowalik S., Drobek-Gilowska A., Tataro M., Sawa-Wojtanowicz B., Wałkuska G.

Mechanical and geometrical properties of wing and leg bone parameters in Mallards and Coots

Summary

A lack of experimental data on the relationship between types of locomotion and the structural properties of the skeletal system in birds prompted the authors to undertake a study on the mechanical and geometrical parameters of bones from the legs and wings of two different wild species of birds – the Mallard (*Anas platyrhynchos* L.) and Coot (*Fulica atra* L.), living in their natural environment. The experiment was conducted on 10 Mallards and 5 Coots living in their natural environment, near Parczew, in the Lublin region of Poland. All the birds were shot and collected after which the bird's bones were isolated and stored in a temperature of -25°C . Their mechanical parameters were analyzed using the three-point bending test and INSTRON 4302 apparatus interlinked with a computer registering the force and deflection of the bones. Geometrical parameters such as the second moment of inertia (I_x), cross sectional area (A), and mean relative wall thickness (MRWT) were also measured. The body mass was lower in the Coots (934 ± 35.44) than in the Mallards (1196 ± 24.78), but the pelvic bone (femur and tibia) mass was higher. The wing bone (humerus, radius and ulna) mass was significantly higher in the Mallard ducks compared to its value in Coots. Similar differences were observed in the length of bones which were longer in the legs of Coots and shorter in Mallards. Maximum and ultimate force was higher in the femora of Coots than in Mallards. The opposite results were observed in the humerus, radius and ulna of Mallards. Geometrical parameters were higher in the tibia of Coots whereas the opposite parameters were observed in the wing bones of Mallards. The obtained results show higher values of geometrical and mechanical parameters of leg bones in Coots where wading is the main type of movement. In contrast, the wing bones of Mallards, where flying rather than wading dominates, are characterized by higher values of geometrical and mechanical parameters compared to those of Coots.

Keywords: Mallards, Coots, leg bones, mechanical and geometrical properties

Kaczki krzyżówki (*Anas platyrhynchos* L.) i łyski (*Fulica atra* L.), dwa gatunki ptaków wolno żyjących, charakteryzują się odmiennymi sposobami lokomocji (6). Zdecydowaną przewagę lotów i pływania w poruszaniu się wykazuje krzyżówka, u łysiek natomiast przeważa lądowy typ lokomocji o cechach kroczenia, brodzenia i biegu z zachowaniem jednak zdolności do pływania oraz lotu. Łyski latają niechętnie, przeciwnie do krzyżówek, dla których lot stanowi przeważającą formę przemieszczania się, nawet na znaczne odległości (6).

Dwa te gatunki posiadają anatomicznie i czynnościowo zróżnicowane naturalnie układy kostno-szkieletowe umożliwiające ocenę i poznanie mechanizmów fizjologicznej i strukturalnej adaptacji układów i narządów ruchu do odmiennych form lokomocji. Wiadomo, że kończyny piersiowe u krzyżówek są bardziej rozwinięte i wyspecjalizowane do sprawnego lotu, zaś kończyny miedniczne są słabiej przystosowane do takich czynności lokomotorycznych, jak kroczenie i bieg.

Natomiast u łysiek istnieją przeciwne relacje w odniesieniu do kończyn piersiowych i miednicznych. To naturalne zróżnicowanie u tych dwóch gatunków ptaków dwu form lokomocji stwarza możliwość porównania istotnych dla funkcji lokomotorycznych cech mechanicznych i geometrycznych kości kończyn.

Mechaniczne i strukturalne cechy układu kostno-szkieletowego kręgowców są precyzyjnie dostosowane do pełnienia funkcji lokomotorycznych i wykazują zróżnicowanie u zwierząt bytujących w środowisku wodnym, lądowym i w powietrzu. Właściwości mechaniczne i geometryczne kości, jak również ich gęstość mineralna, są współcześnie przyjmowane jako jedno z kryteriów oceny stanu funkcjonalnego układu kostno-szkieletowego i są obiektem rosnącej liczby badań (4, 7, 8, 10, 11, 13). Większość tych badań nad cechami funkcjonalnymi kości koncentrowała się do tej pory na ssakach, a ostatnio została poszerzona także o drób użytkowy (1-3, 9, 12, 14, 15). Brak jest jednak takich badań u wolno żyjących ssaków i ptaków.

Szczególnie ptaki wolno żyjące są nadal pomijane ze względu na trudności metodyczne oraz ograniczoną możliwość uzyskania materiału do badań. Odmienność sposobów przemieszczania się, uwarunkowana środowiskowymi warunkami bytowania różnych gatunków ptaków, sugeruje istnienie zależności między swoistymi cechami lokomocji, uwarunkowanymi środowiskowo a budową strukturalną i architektoniczną kości. Wyniki współczesnych badań dowodzą, iż to właśnie czynność lokomotoryczna determinuje funkcjonalne zróżnicowanie, a tym samym optymalne przystosowanie kości do pełnienia funkcji podporowo-nośnych (5, 13). Dokładne jednak mechanizmy determinujące te zależności nie zostały dotychczas wystarczająco poznane.

Celem badań było poznanie wpływu środowiska i fizjologicznych odmienności lokomotorycznych na parametry wytrzymałościowe i geometryczne kości kończyn dwu różnych gatunków, kaczek krzyżówek i łyszek, o zróżnicowanym typie czynności lokomotorycznych, z przewagą chodu i brodzenia u łyszek oraz lotu i pływania u krzyżówek.

Materiał i metody

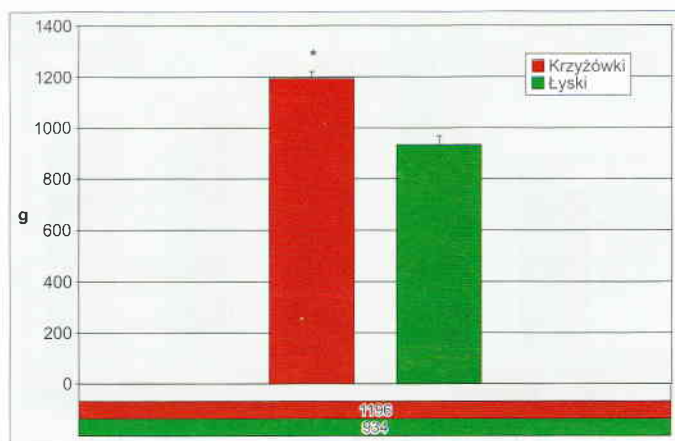
Badania przeprowadzono na 10 dorosłych kaczkach krzyżówkach i 5 dorosłych łyskach, bytujących i żerujących przez całe życie w naturalnym środowisku, bez ingerencji ze strony człowieka, w okolicach Parczewa (woj. lubelskie). Krzyżówki i łyski odławiano z ich naturalnego środowiska przez odstrzał. Bezpośrednio po odłowieniu izolowano nieuszkodzone kości: udową, piszczelową, ramienną, promieniową oraz łokciową, a następnie oczyszczano je dokładnie z tkanek miękkich i do czasu przeprowadzenia dalszych badań, zamrażano w temperaturze -25°C . Przed wykonaniem testów wytrzymałościowych kości rozmrażano, doprowadzając do temperatury pokojowej ok. $18-20^{\circ}\text{C}$. Dla każdej kości określono jej masę i długość oraz zależność masy poszczególnych kości od masy całego ciała. Wg metody opisanej przez Ferrettiego i wsp. (4) analizowano parametry wytrzymałościowe kości, takie jak: wartość siły sprężystej, obliczoną z tzw. punktów sprężystości wyznaczonych odchyleniem stycznej od linii obrazującej zależność między działającą siłą a odkształceniem oraz wartość siły krańcowej, obliczanej z wartości określającej tzw. punkt złamania, w którym następuje dezintegracja strukturalna kości.

Do oceny właściwości mechanicznych wykorzystano metodę trójpunktowego testu ugięcia przy użyciu aparatu Instron 4302 połączonego z komputerem, rejestrującym w postaci wykresu zależność między siłą działającą prostopadłe do osi długiej kości a jej odkształceniem. Siła obciążająca wynikała z nacisku głowicy aparatu na kość ze stałą prędkością 10 mm/min. Kości do badań umieszczano na podporach o specjalnym typie konstrukcji, dopasowanym do wielkości badanych kości, oddalonych od siebie na odległość równą 40% długości kości.

Określono również parametry geometryczne kości, takie jak: pole przekroju poprzecznego, średnia względna grubość ściany oraz wtórny moment bezwładności.

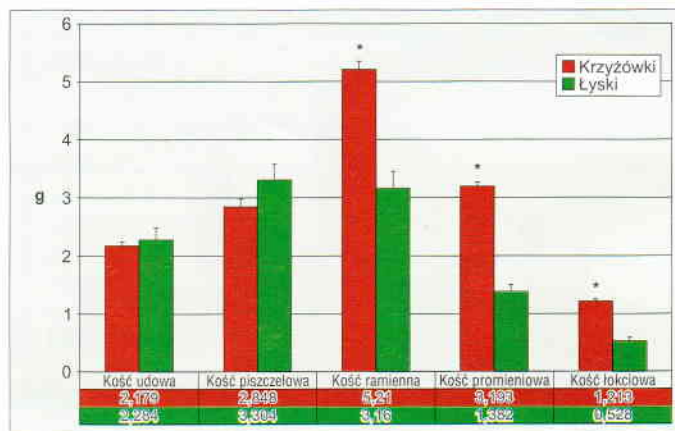
Wyniki i omówienie

Średnia masa ciała krzyżówek wynosiła $1187,5 \pm 28,36$ g, natomiast łyszek była istotnie niższa i wynosiła średnio $934 \pm 35,44$ g (ryc. 1). Obydwa gatunki cechowały wyraźne różnice w masie kości kończyny piersiowej i miednicznej. Średnią masę kości kończyn przedstawiono na ryc. 2. U łyszek, mimo niższej masy ciała, stwierdzono przewagę masy kości udowej i piszczelowej w porównaniu z krzyżówkami, u których



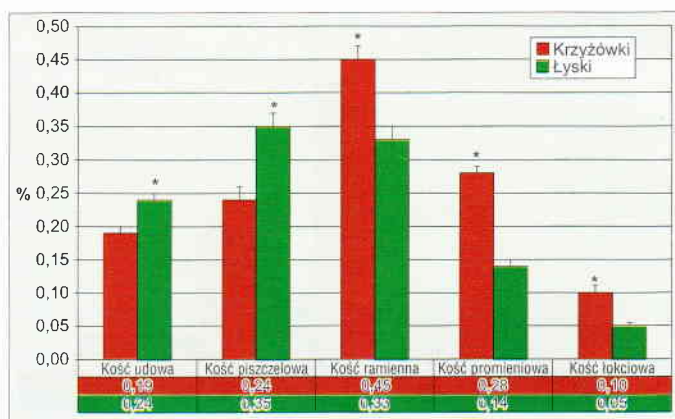
Ryc. 1. Średnia masa ciała krzyżówek i łyszek ($\bar{x} \pm \text{S.E.}$)

Objaśnienie: * – różnice statystycznie istotne przy $p \leq 0,05$



Ryc. 2. Masy kości kończyny piersiowej i miednicznej u krzyżówek i łyszek ($\bar{x} \pm \text{S.E.}$)

Objaśnienie: jak w ryc. 1.

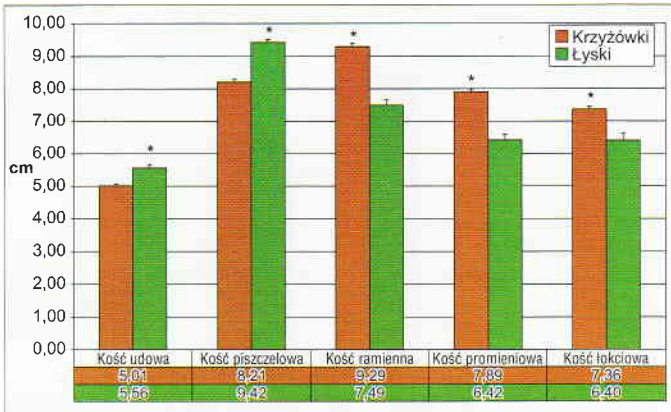


Ryc. 3. Udział procentowy masy poszczególnych kości w masie ciała krzyżówek i łyszek ($\bar{x} \pm \text{S.E.}$)

Objaśnienie: jak w ryc. 1.

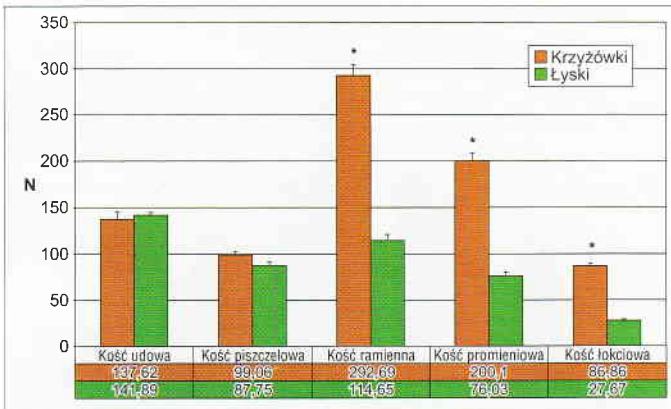
istotnie większa była masa kości kończyny piersiowej, tj. kości ramiennej, promieniowej i łokciowej. Ujawniło się to szczególnie wyraźnie w różnicach względnych wartości i w relacji do masy ciała (ryc. 3).

Długość poszczególnych kości przedstawiono na ryc. 4. W odniesieniu do kości kończyny miednicznej, dłuższe były kości łysek. Przeciwnie kształtowały się te wartości w odniesieniu do kości kończyny piersiowej u krzyżówek, których kości w tej kończynie były



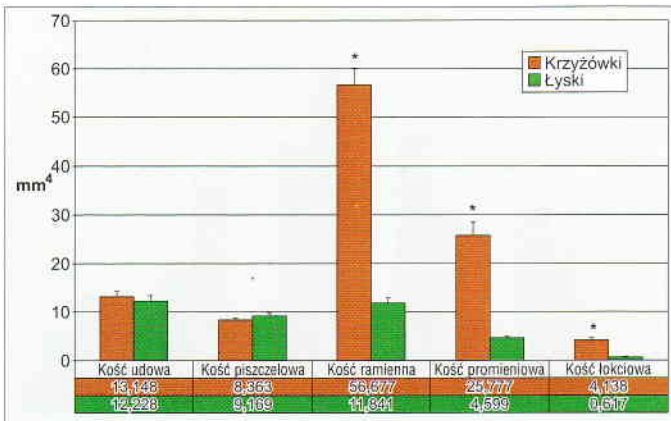
Ryc. 4. Długość kości kończyny piersiowej i miednicznej u krzyżówek i łysek ($\bar{x} \pm S.E.$)

Objaśnienie: jak w ryc. 1.



Ryc. 6. Wartości siły maksymalnej kości kończyn krzyżówek i łysek ($\bar{x} \pm S.E.$)

Objaśnienie: jak w ryc. 1.

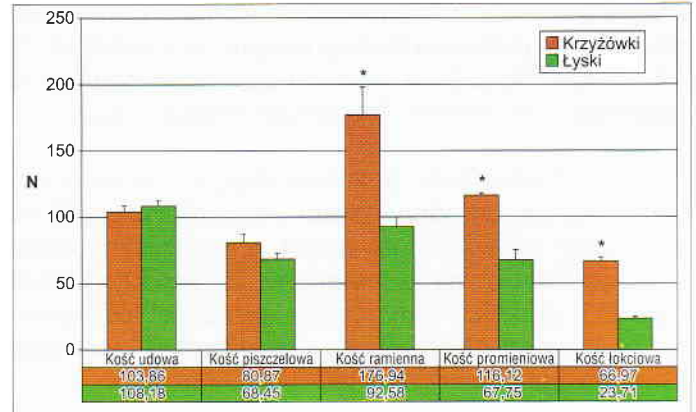


Ryc. 8. Wtórny moment bezwładności (I_x) kości kończyn krzyżówek i łysek ($\bar{x} \pm S.E.$)

Objaśnienie: jak w ryc. 1.

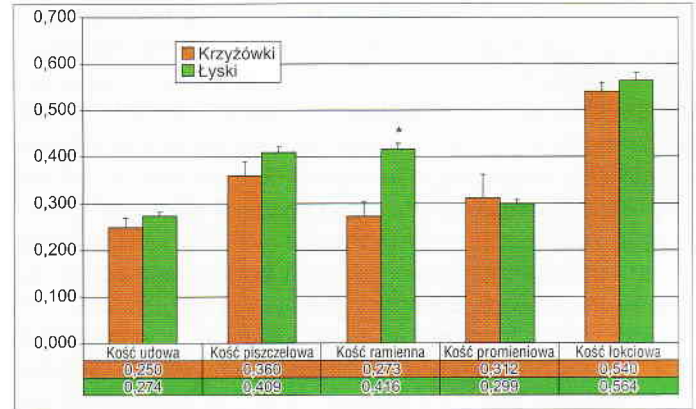
dłuższe. Średnie wartości siły sprężystej przedstawiono na ryc. 5. Kość udowa wykazywała najwyższą wartość tej siły u łysek, natomiast w pozostałych kościach była wyższa u krzyżówek. Identycznie kształtowały się różnice w wartościach siły krańcowej tych kości dwu różnych kończyn (ryc. 6).

Wartość średniej względnej grubości ściany (MRWT – Mean Relative Wall Thickness) przedstawiono na ryc. 7. Najwyższą wartość MRWT stwierdzono u ły-



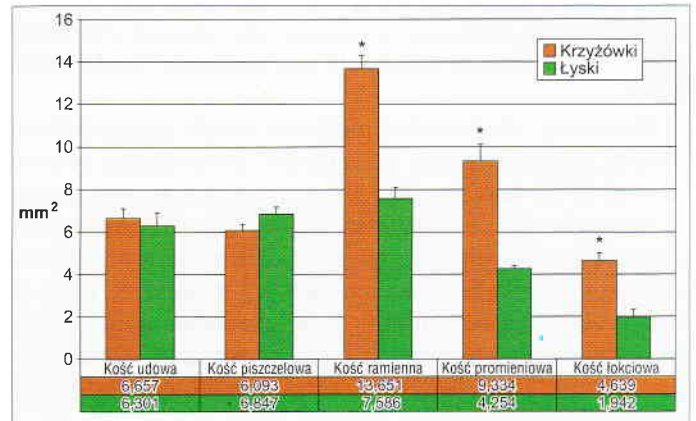
Ryc. 5. Wartości siły sprężystej kości kończyn krzyżówek i łysek ($\bar{x} \pm S.E.$)

Objaśnienie: jak w ryc. 1.



Ryc. 7. Średnia względna grubość ściany (MRWT) kości kończyn krzyżówek i łysek ($\bar{x} \pm S.E.$)

Objaśnienie: jak w ryc. 1.



Ryc. 9. Pole przekroju poprzecznego (A) kości kończyn krzyżówek i łysek ($\bar{x} \pm S.E.$)

Objaśnienie: jak w ryc. 1.

sek w kości: udowej, piszczelowej, ramiennej i łokciowej. Natomiast u krzyżówek wyższe wartości zanotowano tylko w kości promieniowej.

Wartość średnią wtórnego momentu bezwładności (I_x) analizowanych kości przedstawiono na ryc. 8. Wyłącznie dla kości piszczelowej była wyższa wartość I_x u łysek. W pozostałych kościach wyższe wartości I_x stwierdzono u krzyżówek.

Identycznie do wtórnego momentu bezwładności, kształtowała się średnia wartość pola przekroju poprzecznego kości (A), którą przedstawiono na ryc. 9. Najwyższe wartości stwierdzono u łysek dla kości piszczelowej. We wszystkich pozostałych kościach wyższe wartości stwierdzono u krzyżówek.

Wyniki badań dowodzą, że różnice w sposobie przemieszczania się podobnych wprawdzie, ale różnych filogenetycznie gatunków ptaków, bytujących w naturalnych warunkach środowiska, ujawniają zdecydowane różnice strukturalne oraz czynnościowe kości kończyn. Łyski, jako gatunek ptaków brodzących, mogą posiadać lepiej rozwinięte kości kończyny miednicznej. Natomiast kończyny piersiowe, pomimo zachowania zdolności do lotu, nie stanowią o dominującym sposobie przemieszczania się. Przeciwnie relacje występują u krzyżówek, których głównym oraz najsprawniejszym sposobem przemieszczania się jest lot, co sprzężone jest z doskonałym przystosowaniem kości kończyn piersiowych do pełnienia funkcji lotnych. Dlatego ich cechy mechaniczne i geometryczne są strukturalnie i czynnościowo przystosowane do lotu o dużej szybkości i zasięgu. Mała masa kości skrzydeł (kości ramiennej, promieniowej i łokciowej) oraz ich cienkie ściany w połączeniu z wysoką wartością wtórnego momentu bezwładności, a dodatkowo niską wartością MRWT, potwierdzają w pełni strukturalne i funkcjonalne cechy lotne tych kości.

Niewiadome pozostaje jednak nadal, w jakim stopniu rozwojowa masa i długość kości oraz cechy mechaniczne i geometryczne są zdeterminowane rodzajem czynności lokomotorycznych i uwarunkowanymi przez nie obciążeniami, a w jakim stopniu rozwojowe cechy strukturalne pozostają zależne od wpływu czynników genetycznych. Częściową odpowiedź na to pytanie można by uzyskać, stosując eliminację sił grawitacyjnych lub immobilizacyjną eliminację ruchu. W warunkach nieważkości układ kostno-szkieletowy ludzi ulega szybko postępującej demineralizacji, trudnej do opanowania w przypadku długotrwałego braku działania sił grawitacyjnych. Wiadome jest również, że siedzący tryb życia u ludzi jest czynnikiem indukującym wystąpienie i nasilenie osteoporozy. Immobilizacja szczurów prowadzi w znacznie większym stopniu do wystąpienia osteopenii niż owariorhinektomia, która jest jedną z metod doświadczalnej indukcji osteoporozy (13). Dopiero czynność mięśniowa, odpowiednio zaprogramowana, zmniejsza częściowo ten proces ubytków, zarówno składników mineralnych, jak i masy organicznej kości.

Przedstawione wyniki dowodzą istnienia wysokiej adaptacji kości kończyn, uwarunkowanej stopniem i wielkością obciążeń wynikających z czynności mięśniowych decydujących o sposobie poruszania się. Stwierdzone zróżnicowanie cech strukturalnych i funkcjonalnych kości kończyn dwu bliskich filogenetycznie gatunków ptaków, bytujących w naturalnych warunkach środowiska, wskazuje zarówno na wartość uzyskanych rezultatów dokumentujących naturalne procesy sprawności i przystosowania układu kostnego do pełnienia funkcji lokomotorycznych, jak również konieczność prowadzenia dalszych badań w oparciu o gatunki zwierząt wolno żyjących, które są mało poznane w zakresie funkcjonowania układu ruchu, a w szczególności układu kostno-szkieletowego.

Piśmiennictwo

1. Bienko M., Radzki R. P., Puzio I., Szymańczyk S., Valverde Piedra J. L.: Wstępne badania nad wpływem fosforylowanych glukopeptydów na właściwości mechaniczne kości kończyn kurcząt brojlerów. *Przegl. Hod.* 2001, 2, 35-38.
2. Capdevielle M. C., Hart L. E., Goff J., Scanes C. G.: Aluminium and acid effects on calcium and phosphorus metabolism in young growing chicken (*Gallus gallus domesticus*) and mallard ducks (*Anas platyrhynchos*). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1998, 35, 82-88.
3. Crespo R., Stover S. M., Taylor K. T., Chin R. P., Shivaprasad H. L.: Morphometric and mechanical properties of femora in young adult male turkeys with and without femoral fractures. *Poultry Sci.* 2000, 79, 602-608.
4. Ferretti J. L., Capozza R. F., Mondelo N., Zanchetta J. R.: Interrelationship between densitometric, geometric, and mechanical properties of rat femora: inferences concerning mechanical regulation of bone modeling. *J. Bone Mineral Res.* 1993, 8, 1389-1395.
5. Frost H. M.: Suggested fundamental concepts in skeletal physiology. *Calcif Tissue Int.* 1993, 52, 1-4.
6. Haber A., Pasławski T., Zaborowski S.: *Gospodarstwo łowieckie*. PWN, Warszawa 1979.
7. Kaczanowska-Taraszkiewicz E.: Wpływ wieku i płci na wzrost kości kończyn i rozwój ich cech mechanicznych u przepiórki (*Coturnix coturnix Pharaoh*). *Medycyna Wet.* 2001, 57, 510-514.
8. Kaczanowska-Taraszkiewicz E.: Wpływ wieku i płci na mineralizację kości oraz poziom wapnia, fosforu i aktywność fosfatazy zasadowej w osoczu krwi przepiórek. *Medycyna Wet.* 2001, 57, 827-831.
9. Kocamis H., Yeni Y. N., Brown C. U., Kenney P. B., Kirkpatrick-Keller D. C., Killefer J.: Effect of in ovo administration of insulin-like growth factor-I on composition and mechanical properties of chicken bone. *Poultry Sci.* 2000, 79, 1345-1350.
10. Kowalik S., Valverde Piedra J. L., Pierzynowski S., Studziński T.: The influence of alpha-ketoglutarate on growth, development and mineralization of the skeletal system during the postnatal life in the pig. *Acta Orthop. Scand. (Suppl 304)* 2002, 73.
11. Pawłowska M., Kowalik S., Smyk M., Dec A., Szymańczyk S., Valverde Piedra J. L., Studziński T.: Wpływ L-alanylo-L-glutaminy na cechy wytrzymałościowe kości prosiąt w okresie postnatalnym. *Przegl. Hod.* 2001, 2, 38-40.
12. Rath N. C., Balog J. M., Huff W. E., Kulkarni G. B., Tierce J. F.: Comparative differences in the composition and biomechanical properties of tibiae of seven- and seven-two-week-old male and female broiler chickens. *Poultry Sci.* 1999, 78, 1232-1239.
13. Smith J. B., King E. A., Lucas M. P., Akhter, Arjmandi B. H., Stoecker B. J.: Skeletal unloading and dietary copper depletion are detrimental to bone quality of mature rats. *J. Nutr.* 2002, 132, 190-196.
14. Whitehead C. C., Fleming R. H.: Osteoporosis in cage layers. *Poultry Sci.* 2000, 79, 1033-1041.
15. Yasuoka T., Takahashi T., Tanaka T., Kawashima M.: Developmental changes of parathyroid hormone/parathyroid hormone-related peptide and calcitonin receptor binding properties in the chicken calvaria and kidney. *Poultry Sci.* 2001, 80, 1231-1235.